

Проведенное обследование в летнее время озер г. Мурманска – первый этап геоэкологических исследований городских водоемов. Весной со льда озер планируются провести бурение донных отложений в выбранных участках с максимальной глубиной. Таким образом, это позволит лучше оценить влияние городской среды на малые озера в историческом аспекте, то есть за весь период существования города.

*Исследования проведены при частичной поддержке РФФИ (проект № 18-35-00897).*

#### Список литературы

Аннотированный экологический каталог озер Мурманской области: юго-восточная часть (бассейн Белого моря) в 2 ч. – Апатиты. Изд. Кольского научного центра РАН, 2012. – Ч. 2. – 235 с.

### ОСНОВНЫЕ ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ V, Ni и Cr В ЗАГРЯЗНЕННЫХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ГОРОДСКОГО ОЗЕРА, РАСПОЛОЖЕННОГО ВБЛИЗИ ТЭЦ (ПЕТРОЗАВОДСК, РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ)

Слуковский З.И.<sup>1</sup>, Новицкий Д.Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии Карельского научного центра РАН, slukovskii\_z@igkrc.ru

<sup>2</sup>Карельское отделение ФГБНУ ГосНИОРХ

Загрязнение тяжелыми металлами – глобальная проблема современности. Начиная второй половины XVIII века до настоящего времени, то есть в эпоху индустриального развития общества, основными источниками поступления этих химических элементов в окружающую среду являются промышленные предприятия различных отраслей деятельности, транспорт, объекты сельского хозяйства, а также городские территории как совокупный фактор, объединяющий сразу несколько различных по природе и происхождению источников поступления металлов (Сае́т и др., 1990). Мигрируя воздушным и водным путем вместе с другими веществами, ТМ могут накапливаться в поверхностных слоях донных отложений водных объектов, приводя к ухудшению не только его общего состояния, но и к изменениям в структуре сообщества живых организмов, населяющих водоем/водоток, вплоть до гибели определенных групп животных или растений (Даува́льтер, 2012).

Известно, что геохимические особенности донных отложений малых озер являются индикаторами состояния всей водосборной площади, отражая как природные, так и антропогенные изменения, происходящие на обозначенной территории (Даува́льтер, 2006; Страховенко и др., 2014). Анализ содержания тяжелых металлов – важнейшая составляющая в общей оценке экологической ситуации водоема и его водосбора. При этом наиболее ценной является информация не только о валовом (общем) содержании того или иного загрязнителя в донных отложениях водного объекта, но и о различных формах нахождения тяжелых металлов.

Озеро Ламба – небольшой водоем на окраине г. Петрозаводска (рис. 1). Согласно исследованиям, проведенным ранее, водный объект значительно загрязнен тяжелыми металлами в связи с близостью к нему района северной промышленной зоны города и Петрозаводской ТЭЦ (Слуковский, Медведев, 2015; Слуковский и др., 2017). Наибольшее накопление металлов приходится на верхние слои донных отложений озера. Установлено, что приоритетные загрязнители данного городского водоема – ванадий (V), никель (Ni) и хром (Cr), которые поступали и поступаю в озеро в результате выбросов теплоцентрали, использующей в качестве топлива мазут. Цель исследования – анализ форм нахождения указанных тяжелых металлов в верхних слоях донных отложений оз. Ламба.

Исследуемые отложения – это сапропель с содержанием железа до 13% (табл. 1, железистый сапропель). Кроме того, верхние слои осадков характеризуются слабощелочной реакцией (pH) и восстановительными условиями (Eh) (табл. 1). Низкое содержание кальция, указан-

ное в таблице 1, характерно для большинства донных отложений Республики Карелии. С другой стороны, в верхних слоях донных отложений оз. Ламба отмечается резкое повышение уровня накопления V, Ni и Cr (рис. 2), что напрямую связано с деятельностью ТЭЦ и отражает степень загрязнения водоема в историческом аспекте. Учитывая, что предприятие начало работу в 1976 году, то очевидно, что верхние слои донных отложений (0–20 см) накопились за 40 лет. Переход ТЭЦ на использование природного газа, а мазута в качестве резервного топлива повлиял на снижение концентраций указанных металлов в самом верхнем слое отложений, однако превышение над условно-фоновым уровнем все равно остается довольно высоким, чему, вероятно, способствует постоянный снос терригенного материала в озеро в результате эрозионных процессов и поверхностного стока (Слуковский и др., 2017).



Рис. 1. Карта-схема расположения объект исследования

Таблица 1. Некоторые физико-химические характеристики донных отложений оз. Ламба (слой 0–15 см)

pH	Eh, мВ	ППП, %	Si, %	Fe, %	Ca, %
7,26	–298,11	43,56	28,95	12,85	1,38

Весной 2018 года авторами при помощи пробоотборника Limnos была отобрана колонка донных отложений оз. Ламба длиной до 40 см. Для оценки форм нахождения приоритетных для водоема загрязнителей (V, Ni, Cr) верхняя часть колонки была отделена и разбита на три части (три слоя отложений) – 0–5, 5–10 и 10–15 см. Для определения различных форм нахождения тяжелых металлов использовалась методика (схема) последовательного экстрагирования форм тяжелых металлов в почвах, включающая в себя определение поверхностно-сорбированных обменных форм металлов, форм, связанных с карбонатными минералами и легко разлагаемым органическим веществом, форм, связанных с органическим веществом, форм, связанных с оксидами железа и марганца (сорбированные на них), а также форм, связанных с гидрооксидом железа (кристаллические) (Tessier et al., 1979). Содержание тяжелых металлов в полученных водных и кислотных вытяжках определялось масс-спектральным методом на приборе XSeries-2 ICP-MS. Работы по подготовке образцов проводились на базе Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева Кольского научного центра РАН, г. Апатиты (аналитик О.П. Карыгная). Непосредственная ICP-MS-съемка проводилась на базе аналитического центра Института геологии Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск (аналитик А.С. Парамонов).

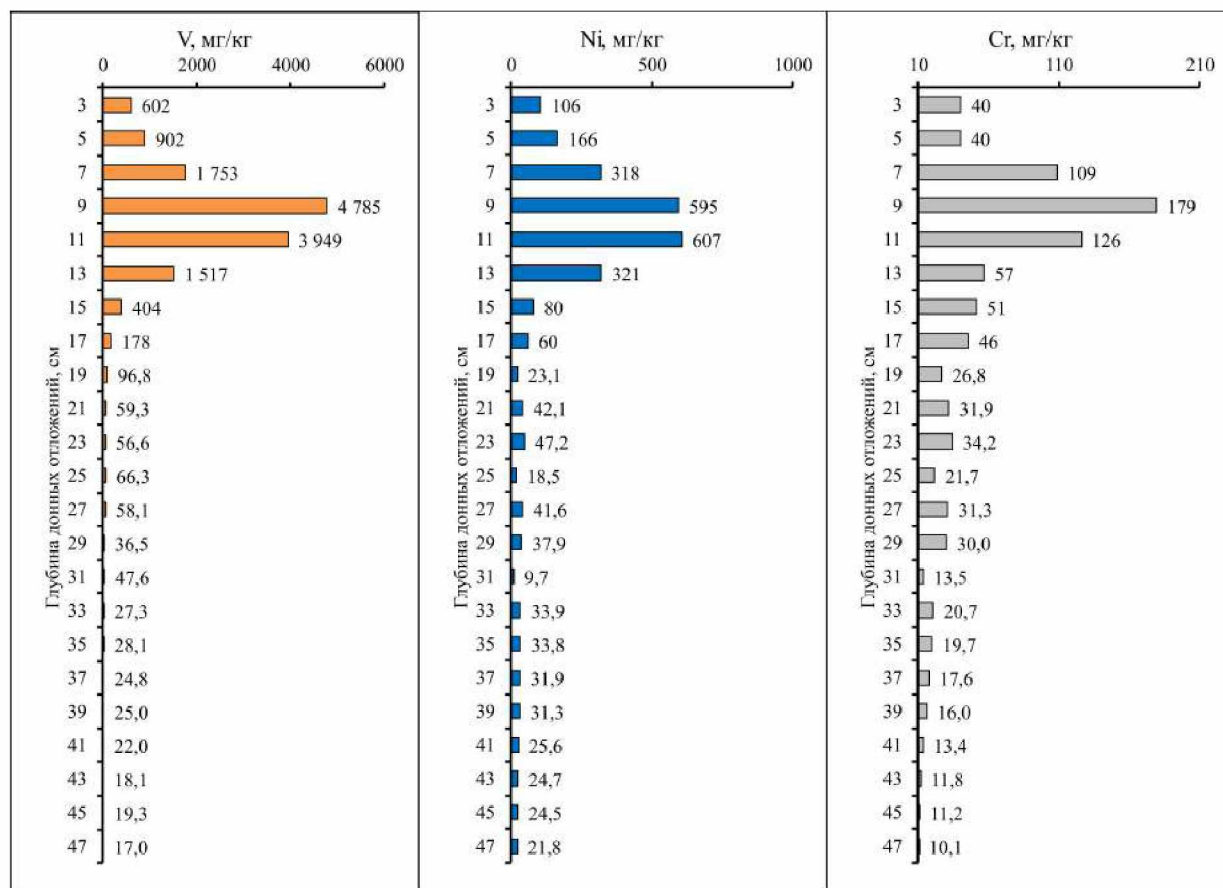


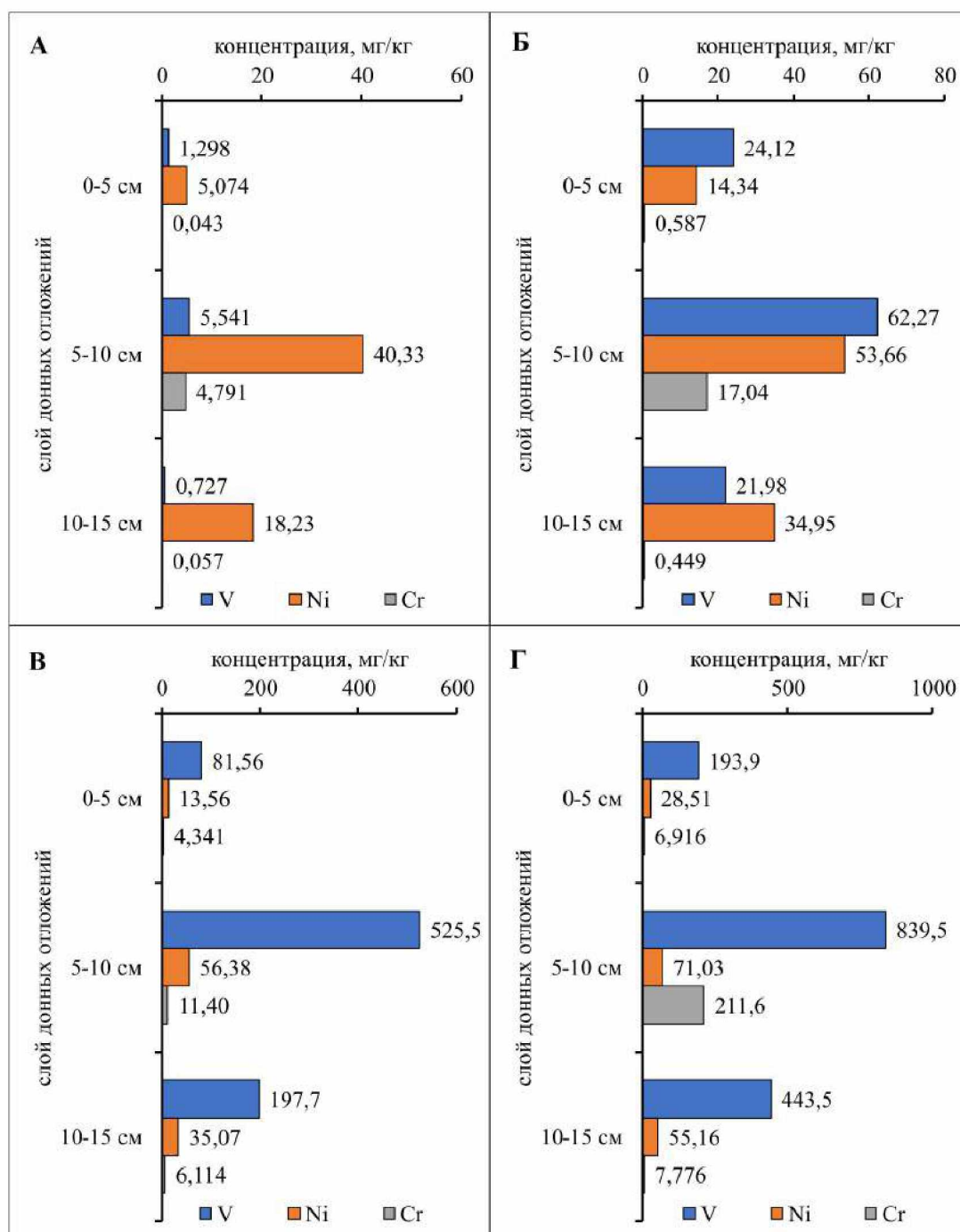
Рис. 2. Вертикальное распределение валовых концентраций V, Ni и Cr в колонке донных отложений оз. Ламба

В результате аналитических исследований было установлено следующее (рис. 3):

- наибольшие концентрации всех металлов приходятся на слой 5–10 см, что согласуется с ранее проведенными работами по анализу валовых концентраций микроэлементов в донных отложениях оз. Ламба (Слуковский и др., 2017). При этом концентрации V, Ni и Cr во всех формах нахождения в самом верхнем слое донных осадков водоема (0–5 см) значительно ниже по сравнению с содержанием этих элементов в нижележащих слоях отложений;
- основными формами нахождения V в донных отложениях оз. Ламба являются формы, связанные с гидроксидами железа и органическими соединениями. Основными формами нахождения Cr в донных отложениях оз. Ламба являются формы, связанными с органическим веществом, и обменные катионы (подвижные формы). Концентрации Ni в изученных образцах донных отложений практически равномерно распределены по всем формам нахождения;
- концентрации водорастворимых форм V и Cr в изученных образцах проб крайне малы по сравнению с другими формами и по сравнению с водорастворимыми формами Ni в этих же пробах. Таким образом, именно Ni может быть наиболее опасен для водной биоты городского озера, обитающей в толще воды, в связи с его токсическими свойствами;
- высокие концентрации всех изученных металлов в формах, связанных с органическими соединениями, создают экологические риски для бентосных организмов и рыб-бентофагов водного объекта, учитывая их рацион питания. Данный факт подтверждается проводимыми ранее исследованиями содержания V, Ni и Cr в организме рыб (окуня и плотвы) изучаемого городского водоема (Слуковский и др., 2016; Новицкий, 2018).

Дальнейшие исследования позволят установить аналогичные закономерности для других тяжелых металлов из донных отложений оз. Ламба, а также оценить вклад каждой из форм содержания микроэлементов в валовое содержание того или иного металла.





**Рис. 3.** Содержание V, Ni и Cr в верхних слоях донных отложений оз. Ламба:

А – водорастворимые формы, Б – подвижные формы, В – формы, связанные с железистыми образованиями, Г – формы, связанные с органическим веществом

*Авторы благодарят сотрудников ИТХТЭМС КНЦ РАН О.П. Карытную и И.П. Кремнецкую и сотрудника ИГ КарНЦ РАН А.С. Парамонова за помощь в проведении аналитических исследований.*

*Исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-35-00897 «а»).*

#### Список литературы

1. Даувальтер В.А. Халькофильные элементы (Hg, Cd, Pb, As) в донных отложениях водных объектов водосбора Белого моря в пределах Кольского полуострова // Геохимия. 2006. № 2. 237-240. doi:10.1134/S0097807810040093.
2. Даувальтер В.А. Геоэкология донных отложений озер. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2012. 242 с.

3. Новицкий Д.Г. Закономерности распределения тяжелых металлов в органах и тканях рыб на примере плотвы (*Rutilus rutilus*) и речного окуня (*Perca fluviatilis*) озера Ламба (Петрозаводск, Республика Карелия) // Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2018» / Отв. ред. И.А. Алешковский, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов. [Электронный ресурс]. – М.: МАКС Пресс, 2018.
4. Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. М.: Недра. 1990. 335 с.
5. Слуковский З.И., Ильмаст Н.В., Суховская И.В., Борвинская Е.В. Анализ содержания тяжелых металлов в органах рыб озера Ламба (Петрозаводск, Республика Карелия) // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: Материалы VI Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 120-летию со дня рождения Г.М. Крепса и 110-летию со дня рождения О.И. Семенова-Тянь-Шанского. – Апатиты: Издательство Кольского научного центра РАН, 2016. С. 214–218.
6. Слуковский З.И., Ильмаст Н.В., Суховская И.В., Борвинская Е.В., Гоголев М.А. Геохимическая специфика процесса современного осадконакопления в условиях техногенеза (на примере оз. Ламба, Петрозаводск, Карелия) // Труды Карельского научного центра РАН. 2017. № 10. С. 45–63.
7. Слуковский З.И., Медведев А.С. Содержание тяжелых металлов и мышьяка в донных отложениях озер Четырехверстного и Ламбы (г. Петрозаводск, Республика Карелия) // Экологическая химия. 2015. № 1. С. 56–62.
8. Страховенко В.Д., Кабанник В.Г., Маликова И.Н. Геохимические особенности экосистемы озера Колыванское (Алтайский край) и влияние на нее антропогенного воздействия // Литология и полезные ископаемые. 2014. № 3. С. 220–234.
9. Tessier A., Campbell P.G., Bisson M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals // Analytical Chemistry. 1979. Vol. 51(7). P. 844–851.

## СОВРЕМЕННАЯ ГИДРОЭКОЛОГИЯ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА И ЕГО БАССЕЙНА

Строков А.А.<sup>1</sup>, Санин А.Ю.<sup>1</sup>, Терский П.Н.<sup>2</sup>, Фатхи М.О.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова, [aastrokov@mail.ru](mailto:aastrokov@mail.ru)

<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

**Введение.** Онежское озеро – уникальный природный объект, резервуар пресной питьевой воды для трех регионов Северо-запада России – Республики Карелия (РК), Ленинградской и Вологодской областей. Мониторинг его экологического состояния крайне важен с точки зрения хозяйственно-питьевого и рыбохозяйственного использования. Одним из критериев экологического состояния водоема является качество его вод.

Целью данного исследования служит характеристика современного состояния вод Онежского озера (в том числе Петрозаводской губы) и некоторых водных объектов его бассейна: оз. Суоярви, реки Лососинка, Неглинка, Шуя, Кумса, Пяльма, Водла и Андома. К задачам исследования относились:

- оценка уровня водопользования в бассейне озера за последние 10 лет (2007–2016 годы);
- оценка качества поверхностных вод по гидрохимическим и гидробиологическим показателям;
- генетическая типизация загрязняющих веществ (ЗВ);
- определение ассимилирующей емкости (АЕ) озера по химическим показателям на основе разработанных нормативов допустимого воздействия (НДВ) на водные объекты бассейна озера.

**Методы исследования.** В рамках исследования использованы статистические данные и материалы государственных докладов о состоянии окружающей среды РК и Вологодской области (Государственный доклад..., 2009–2017; Доклад..., 2009–2017), ежегодников качества поверхностных вод РФ (Качество..., 2009–2017), ежегодников состояния экосистем поверхностных вод России (по гидробиологическим показателям) (Ежегодник..., 2009–2017), сводного тома нормативов допустимого воздействия по бассейну реки Нева, включая реки Свирь, реки бассейнов Онежского и Ладожского озер (Нормативы..., 2015). Используются также результаты комплексных исследований, посвященных Онежскому озеру и его водосборному бассейну,